

# Gesundheit

*Jobst Augustin, Rainer Sauerborn, Katrin Burkart, Wilfried Endlicher,  
Susanne Jochner, Christina Koppe, Annette Menzel, Hans-Guido Mücke,  
Alina Herrmann*

## **14.1 Überblick – 138**

## **14.2 Direkte Auswirkungen – 138**

14.2.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch thermische Belastung – 138

14.2.2 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch UV-Strahlung – 139

## **14.3 Indirekte Auswirkungen – 141**

14.3.1 Pollenflug und Allergien – 141

14.3.2 Infektionserkrankungen – 142

14.3.3 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe – 145

## **14.4 Synergien von Klima- und Gesundheitsschutz – 146**

## **14.5 Kurz gesagt – 146**

**Literatur – 146**

## 14.1 Überblick

In den Unterkapiteln betrachten wir die direkten und indirekten gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland und die jeweils spezifischen Anpassungsmaßnahmen.

Die multikausalen Zusammenhänge erschweren konkrete Aussagen und Prognosen zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Trotzdem ist ein Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit der Menschen in Deutschland wahrscheinlich. Gefährdet sind dabei insbesondere verwundbare (vulnerable) Gruppen wie Kinder oder ältere Menschen. Um die Folgen klimatischer Veränderungen auf die Gesundheit zu minimieren, sind Maßnahmen zur Klimawandelanpassung und -vermeidung notwendig. Dabei gibt es spezifische Anpassungsmaßnahmen, z. B. im Bereich der Prävention von Hitzetoten oder UV-Schäden. Darüber hinaus führt die Stärkung von Gesundheitssystemen im Allgemeinen zu einer höheren Widerstandskraft von Gesellschaften gegenüber klimabedingten Gesundheitsrisiken. Bemerkenswert ist, dass Maßnahmen der Klima- und Gesundheitspolitik auch synergistisch wirken können, so etwa die Förderung von aktivem Transport (z. B. Fahrradfahren). Solche Maßnahmen können nur in einer intersektoralen Zusammenarbeit entwickelt und evaluiert werden.

## 14.2 Direkte Auswirkungen

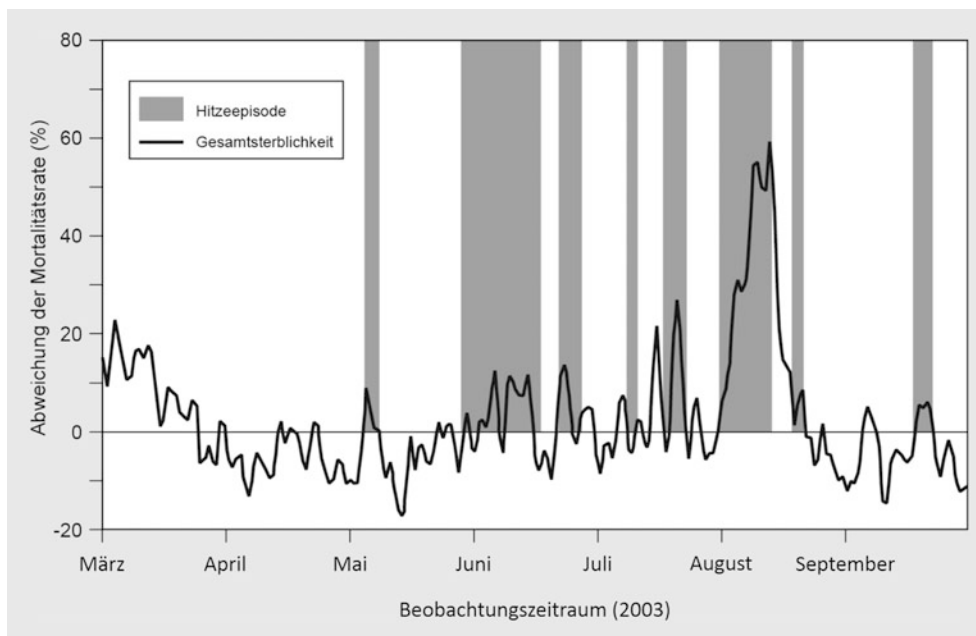
### 14.2.1 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch thermische Belastung

Die Häufigkeit von Hitzewellen hat in den vergangenen Jahren in Deutschland zugenommen, wie entsprechende Episoden in den Jahren 1994, 2003, 2006, 2010 oder 2013 belegen (Coumou und Robinson 2013; Schär und Jendritzky 2004; Seneviratne et al. 2014). Auch künftig muss mit einer Zunahme an Hitzetagen und

Hitzewellen gerechnet werden (IPCC 2012, 2013), möglicherweise mit einer Verdoppelung bis 2020 bzw. einer Vervierfachung bis 2040 (Rahmstorf und Coumou 2011; Coumou et al. 2013). Bei Hitzewellen kommt es zu einer erhöhten Krankheitslast, insbesondere von Lungen- und Herz-Kreislauf-erkrankungen (Michelozzi et al. 2009; Scherber et al. 2013a, 2013b), sowie zu gesteigerten Sterberaten (Koppe et al. 2004). So verstarben 2003 während der sommerlichen Hitzewellen in zwölf europäischen Ländern schätzungsweise 50.000 bis 70.000 Menschen zusätzlich, was als eine der größten europäischen „Naturkatastrophen“ anzusehen wäre (Larsen 2006; Robine et al. 2008). Erhöhte Sterblichkeitsraten bei thermischer Belastung im Sommer konnten auch für Deutschland nachgewiesen werden (Koppe 2005; Heudorf und Meyer 2005; Schneider et al. 2009). So war die Sterblichkeit (Mortalität) während der Hitzewelle 2003 in Baden-Württemberg besonders hoch (■ Abb. 14.1). Betroffen sind aber nicht nur die Becken- und Tallagen Süddeutschlands. Auch in West- und Norddeutschland werden bei Hitzewellen erhöhte Sterberaten verzeichnet (Hoffmann et al. 2008). Während der dreiwöchigen Hitzewelle 1994 im überwiegend ländlich geprägten Brandenburg verstarben 10–50 %, in einigen Bezirken Berlins sogar 50–70 % mehr Menschen als in dieser Jahreszeit sonst üblich (Gabriel und Endlicher 2011).

Die thermischen Umweltbedingungen werden allerdings nicht nur durch die Temperatur der Umgebungsluft, sondern auch durch Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlungsverhältnisse gesteuert. Eine Bewertung der thermischen Umwelt kann über sogenannte thermische Indizes erfolgen. Entsprechende Modelle werden z. B. vom Deutschen Wetterdienst (Gefühlte Temperatur; GT) oder international (*Universal Thermal Climate Index*; UTCI) verwendet (Jendritzky et al. 2009). Die thermische Belastung wird dabei nach Kältereiz und Wärmebelastung unterschieden (Deussen 2007; Menne und Matthies 2009).

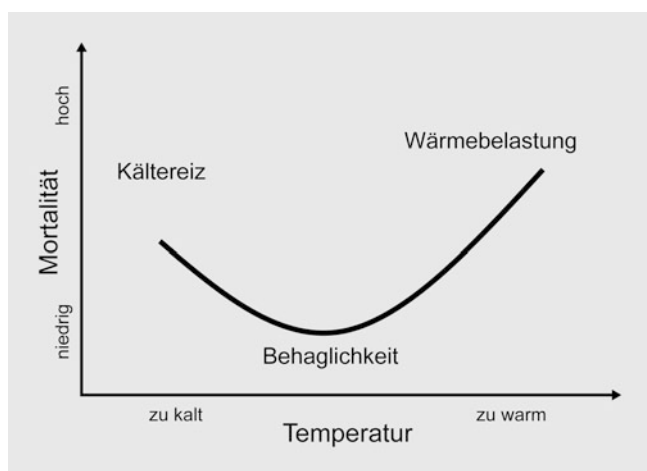
Der Wärmehaushalt des Menschen ist im Körperinnern auf eine gleichbleibende Temperatur von etwa 37 °C ausgerichtet



■ Abb. 14.1 Hitzewellen im Jahr 2003 in Baden-Württemberg (grau) und Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten zwischen März und September vom Erwartungswert in %; die Vorverlegung des Sterbezeitpunkts – und der sich daran anschließende leichte Rückgang der Sterblichkeit – wird als *harvesting effect* bezeichnet. (Koppe und Jendritzky 2005)

(entspricht thermischem Komfortbereich). Mit zunehmender Wärme- oder Kältebelastung steigen die Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System, den Bewegungsapparat und die Atmung, was in einer Zunahme der Erkrankungs- und Sterberaten resultiert (■ Abb. 14.2). Studien zeigen, dass bei Hitzestress besonders Säuglinge, Kleinkinder, ältere und kranke Menschen gefährdet sind, bei denen das Thermoregulationssystem nur eingeschränkt funktionsfähig ist (D'Ippoliti et al. 2010; Bouchama et al. 2007; Eis et al. 2010). Zudem sind Personen, die Arbeitsschutzkleidung tragen, eine geringe Fitness oder Übergewicht haben, regelmäßig Alkohol, Drogen oder bestimmte Medikamente einnehmen, verstärkt hitzegefährdet (Koppe et al. 2004). Insgesamt gesehen variiert der individuelle thermische Komfortbereich jedoch auch nach geografischer Lage, Jahreszeit und Akklimatisation (physiologische Anpassungsfähigkeit des Körpers an die Umgebung) (Parsons 2003; Menne und Matthies 2009).

Die gesundheitlichen Risiken von thermischen Belastungen können durch eine verringerte Luftgüte bei erhöhten Konzentrationen von Stickoxiden, Ozon und Feinstaub verstärkt werden (■ Abb. 14.3 und ► Abschn. 14.3.3; Burkart et al. 2013; Ren et al. 2006, 2008; Roberts 2004). Dieser Zusammenhang ist insbesondere für die städtische Bevölkerung von Bedeutung. Menschen in Städten sind zudem eher gefährdet als Menschen auf dem Land, da Städte bis zu 10°C wärmer als ihre Umgebung sein können (► Kap. 22). Auch warme, „tropische“ Nächte mit Temperaturen über 20°C kommen in diesen städtischen Wärmeinseln häufiger vor und erschweren die notwendige nächtliche Erholung. In der europaweiten EuroHEAT-Studie zu den Auswirkungen von Hitzewellen auf die Mortalität in Großstädten wurden während Hitzewellen Werte der Übersterblichkeit zwischen 7,6 und 33,6 %, in extremen Einzelfällen auch über 50 % gefunden (D'Ippoliti et al. 2010).



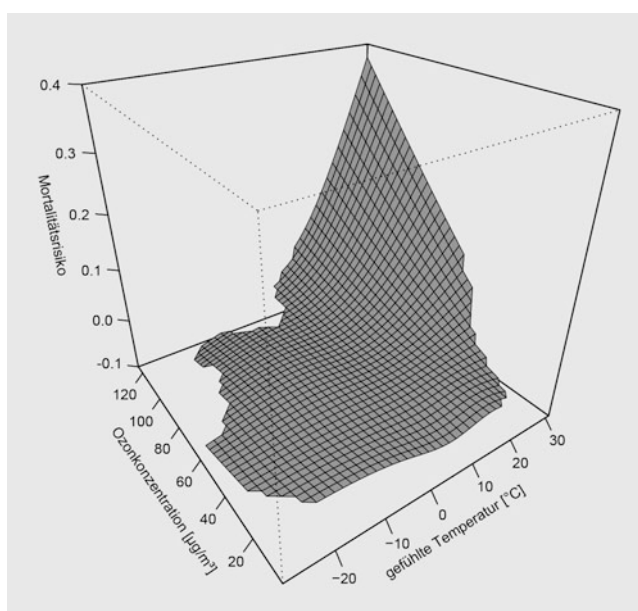
■ Abb. 14.2 Thermische Umweltbedingungen und Mortalität stehen in einem engen Bezug. Bei thermischem Komfort, also Behaglichkeit, ist das Mortalitätsrisiko am niedrigsten, es steigt sowohl bei Kältereiz als auch bei Wärmebelastung

## ■ Anpassungsmaßnahmen

Aus diesem Sachverhalt ergibt sich die Notwendigkeit, einerseits bei Hitzewellen die Bevölkerung kurzfristig durch ein effektives Warnsystem zu informieren und Verhaltensempfehlungen zu geben. Dabei sollte insbesondere den vulnerablen Gruppen eine erhöhte Aufmerksamkeit zukommen (Umweltbundesamt 2008). Zudem sind Hitzewarnsysteme auf ihre Effektivität hin zu evaluieren (Augustin et al. 2011). Andererseits müssen langfristig unsere Städte so (um-)gebaut werden, dass in ihnen nicht nur die Emission von Treibhausgasen so rasch und so weit wie möglich eingeschränkt, sondern auch durch Stadtplanung und Architektur eine Anpassung an die schon nicht mehr zu verhindernden Folgen des Klimawandels erreicht wird (Koppe et al. 2004; Endlicher 2012). Das Bewusstsein hinsichtlich der Gefahren, die im Klimawandel mit Hitzewellen verbunden sind, muss weiter verbessert werden. Im Hinblick auf den eingeschränkten Kapitelumfang wird für genauere Informationen zu Anpassungsmaßnahmen auf die Broschüre *Heat Health Actions Plans* der WHO verwiesen (Matthies et al. 2008).

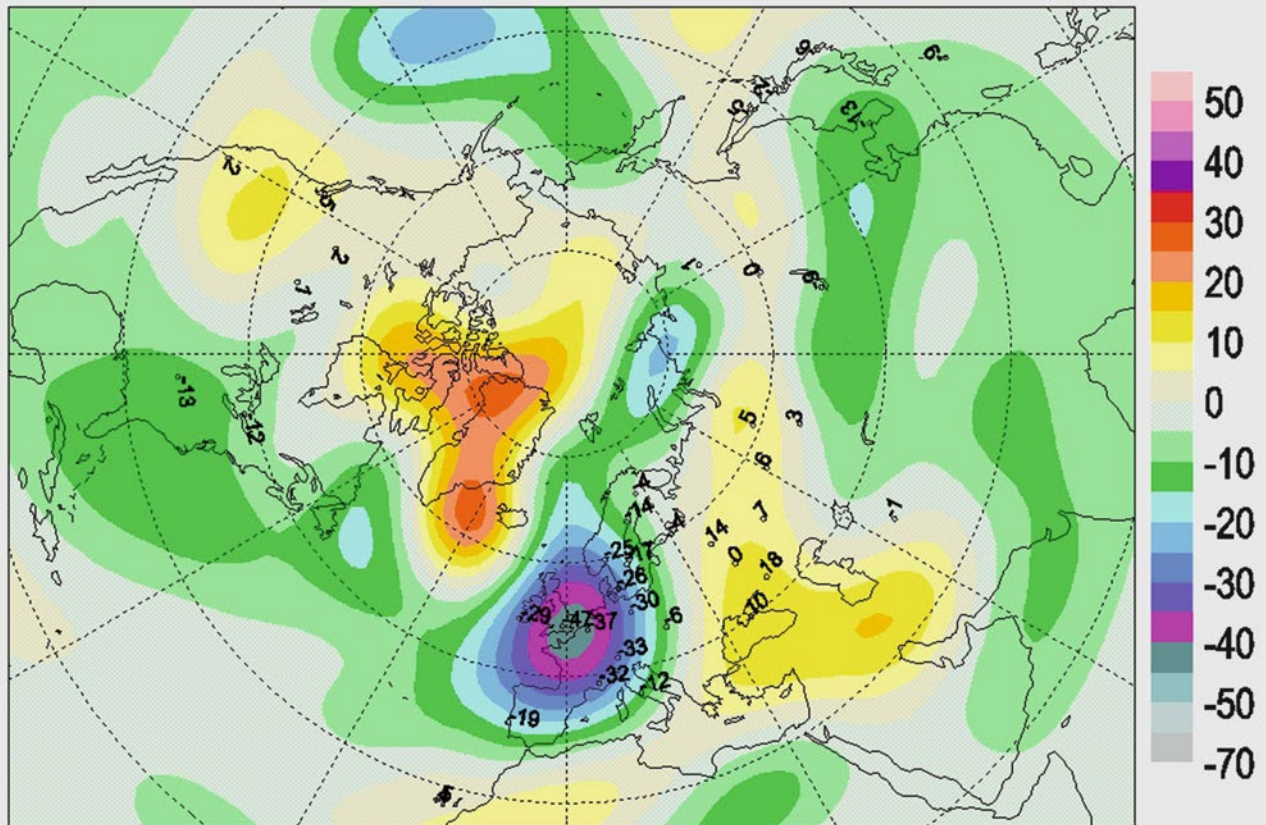
### 14.2.2 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch UV-Strahlung

Die ultraviolette (UV-)Strahlung hat aufgrund ihrer strahlungsphysikalischen Eigenschaften einen bedeutenden Einfluss auf den menschlichen Körper. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird die Intensität der UV-Strahlung aufgrund von Streuung und Absorption geschwächt. Vor allem die stratosphärische Ozonschicht in einer Höhe von etwa 20 km (mittlere Breiten) sorgt dafür, dass wellenlängenabhängig Teile der UV-Strahlung herausgefiltert werden. Stark von der Ozonschichtdicke abhängig ist die biologisch besonders wirksame UVB-Strahlung, die aufgrund



■ Abb. 14.3 Wirkung kombinierter Effekte von hohen Temperaturen (°C UTCI) und Ozonkonzentrationen auf die Mortalität in Berlin. Temperatur und Ozonkonzentration beziehen sich jeweils auf Zwei-Tages-Mittel. (Burkart et al. 2013)

## Total Ozone Departures (%) for 19 January 2006



WMO-SCIA Daily Ozone Maps LAP-AUTH-GR 2006

■ **Abb. 14.4** Abweichung des Gesamtozons in % in der Nordhemisphäre am 19. Januar 2006. Referenz: Januarmittel der Jahre 1978–1988, Nordhemisphäre. (Environment Canada 2013)

ihrer krebserregenden (karzinogenen) Wirkung als Hauptrisikofaktor für die Entstehung von Hautkrebserkrankungen angesehen wird (Greinert et al. 2008). Neben der Ozonschicht wird die UV-Strahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre von weiteren Faktoren beeinflusst, insbesondere von der Bewölkung. Sowohl die Bewölkung als auch das stratosphärische Ozon (Ozonchemie und -dynamik) unterliegen dem Einfluss klimatischer Gegebenheiten und sind damit auch sensitiv gegenüber klimatischen Veränderungen.

Der verstärkte Eintrag ozonzerstörender Substanzen vor allem von Fluorchlorkohlenwasserstoffen hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass die natürliche, vor der UV-Strahlung schützende Ozonschicht in der Stratosphäre geschädigt wurde. Damit einhergehend zeigte sich eine merkliche Zunahme von Hautkrebserkrankungen in der Bevölkerung (Breitbart et al. 2012), die nach Greinert et al. (2008) neben Verhaltensaspekten auch auf die sich erhöhende UV-Strahlung zurückzuführen ist. Hautkrebs ist inzwischen mit 234.000 Neuerkrankungen pro

Jahr (2013) die häufigste Krebserkrankung in Deutschland (Katalinic 2013).

Neben Hautkrebs ist der Graue Star (Katarakt) eine der wesentlichen Folgeerscheinungen einer erhöhten UV-Exposition des Menschen (Shoham et al. 2008). Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass die UVB-Strahlung die Vitamin-D-Produktion im Körper anregt und damit bei richtiger Dosierung auch einen positiven Effekt auf die Gesundheit hat, da das Risiko reduziert wird, an Osteoporose zu erkranken oder einen Herzinfarkt zu bekommen (Norval et al. 2011).

Internationale Abkommen – u. a. das Montrealer Protokoll von 1994 – zur Reglementierung des Eintrags ozonzerstörender Substanzen zeigen mittlerweile Wirkung, sodass etwa bis Mitte des Jahrhunderts mit einer Regeneration der Ozonschicht gerechnet werden kann (Bekki und Bodeker 2010). Noch nicht vollends geklärt ist der Einfluss des Klimawandels auf den Ozonhaushalt (Ozondynamik und -chemie) sowie auf jene Faktoren (z. B. Bewölkung), welche die UV-Strahlung beeinflussen. Prognosen zur zukünftigen UV-Strahlung und zu den Folgeer-



scheinungen für die Gesundheit sind jedoch komplex und mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere die Bewölkung erschwert aufgrund ihrer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität eine solche Prognose. Für das Jahr 2050 haben Köpke et al. (2007) ohne Berücksichtigung der Bewölkung einen Rückgang der UV-Strahlung auf Werte der 1970er-Jahre modelliert. Aufgrund des prognostizierten Rückgangs der Bewölkung im Sommer in Mitteleuropa wird dieser Effekt jedoch wahrscheinlich überkompensiert, sodass die Autoren netto eine Erhöhung der UV-Strahlung um 5–10 % annehmen. Darüber hinaus werden vermutlich lokale, temporäre Extremereignisse wie die sogenannten Ozonniedrigereignisse an Bedeutung gewinnen. Dabei handelt es sich um lokal begrenzte ozonarme Luftmassen, die aus den polaren Regionen bis nach Mitteleuropa vordringen können und mit teilweise sehr hohen UV-Strahlungswerten einhergehen. Sie treten insbesondere im Frühjahr auf, also zu einer Zeit, zu der die Haut besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung ist. Während der vergangenen Jahrzehnte wurde eine Häufigkeitszunahme dieser etwa 3–5 Tage dauernden Ereignisse ausgemacht (Rieder et al. 2010). ■ Abb. 14.4 zeigt beispielhaft ein Ozonniedrigereignis am 19. Januar 2006 mit einer um bis zu 47 % reduzierten Ozonkonzentration (<200 Dobson Units) über Mitteleuropa.

Unabhängig von einer (klimatisch bedingten) Veränderung der UV-Strahlung ist davon auszugehen, dass klimatische Veränderungen das menschliche Expositionsverhalten wie z. B. einen vermehrten Aufenthalt im Freien beeinflussen werden (Bharath und Turner 2009; Ilyas 2007). Sonnenreiche Tage mit Temperaturen im thermischen Komfortbereich führen zu einer deutlich erhöhten UV-Exposition, weil Menschen beispielsweise mehr im Garten arbeiten oder sich im Schwimmbad aufhalten (Knuschke et al. 2007). Versuche mit Mäusen haben darüber hinaus verdeutlicht, dass die Umgebungstemperatur die karzinogene Wirkung der UV-Strahlung beeinflusst (van der Leun und de Gruijl 2002) und erhöhen kann (van der Leun et al. 2008). Nach van der Leun und de Gruijl (2002) lassen sich die Ergebnisse annäherungsweise auch auf Menschen übertragen.

Kelfkens et al. (2002) haben die veränderte Hautkrebshäufigkeit unter dem Klimawandel für Europa modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass die durch den Klimawandel zusätzlich auftretenden Hautkrebsfälle in Mitteleuropa noch mehrere Jahrzehnte zunehmen werden. Norval et al. (2011) prognostizieren für die Vereinigten Staaten von Amerika einen Anstieg des Grauen Stars bis zum Jahr 2050 um 1,3–6,9 %.

Um den negativen Einfluss der UV-Strahlung auf die Gesundheit zu minimieren, wurden Instrumente wie der UV-Index entwickelt. Studien zur Evaluierung solcher Anpassungsmaßnahmen verdeutlichen jedoch, dass die Maßnahmen beziehungsweise ihre Kommunikation bislang noch Defizite aufweisen. Beispielsweise konnten Wiedemann et al. (2009) aufzeigen, dass der UV-Index in der Bevölkerung noch relativ unbekannt ist und wenn bekannt, dann oftmals nicht richtig interpretiert werden kann. Daher sollte einer guten Kommunikation zielgruppenspezifischer Anpassungsmaßnahmen zukünftig verstärkt Beachtung geschenkt werden.

## 14.3 Indirekte Auswirkungen

### 14.3.1 Pollenflug und Allergien

Die WHO beziffert die Zahl der Menschen, die weltweit unter Allergien leiden, auf 30–40 % der Gesamtbevölkerung (Pawankar et al. 2011). In Deutschland sind laut einer Studie des Robert Koch-Instituts 30 % der Bevölkerung von Allergien betroffen, wobei 14,8 % der Bevölkerung unter Heuschnupfen leiden (Langen et al. 2013). Der Klimawandel hat u. a. Auswirkungen auf allergene Pflanzen und kann zu einer Veränderung der Pollensaison, Pollenmenge sowie Pollenallergenität führen und die Verbreitung von invasiven Arten begünstigen. All diese Faktoren beeinflussen die Allergieentstehung und können massivere allergische Erkrankungen hervorrufen (Beggs 2004).

Der Beginn der Pollensaison wird maßgeblich von der Pflanzenphänologie bestimmt. Da phänologische Frühjahrsphasen überwiegend temperaturgesteuert sind, hat der Klimawandel in den vergangenen drei Jahrzehnten zu deutlichen Veränderungen in Deutschland geführt (Menzel und Estrella 2001; Chmielewski 2007). Wie eine europaweite Studie zeigt, haben sich Frühjahrsphasen durchschnittlich um etwa 2 Wochen verfrüht (Menzel et al. 2006). Aufgrund der milderer Witterung im Frühjahr startet die Pollensaison heute bereits merklich früher (Frei und Gassner 2008). Eine Verlängerung der Pollensaison wird vor allem für Gräser beobachtet (Fernandez Rodriguez et al. 2012).

#### ■ Invasive Arten

Eine weitere Lücke im Pollenkalender schließt die invasive Art *Ambrosia artemisiifolia* L. (*Ambrosia*, Beifußblättriges Traubenkraut). Die ursprünglich in Nordamerika beheimatete *Ambrosia* wächst seit den 1980er-Jahren in größeren Beständen in Teilen Südeuropas (Zink et al. 2012). Die wärmeliebende Art gedeiht in Deutschland vor allem im Rheintal, Südhessen, Ostbayern sowie in Berlin und Brandenburg (Otto et al. 2008) und wird sich mit steigenden Temperaturen sehr wahrscheinlich weiter ausbreiten. Städte als Wärmeinseln (► Kap. 22) können dabei das Vorkommen dieser invasiven Art ebenfalls begünstigen. *Ambrosia*-Pollen werden als hochallergen eingestuft (Eis et al. 2010). *Ambrosia* blüht im Spätsommer und Herbst, wodurch sich der Zeitraum mit Pollenallergenen in der Luft nun fast über das ganze Jahr erstreckt (PID 2012).

#### ■ Pollenmenge und -allergenität

Ein Faktor, der sehr wahrscheinlich auch zu häufigeren, schwereren allergischen Erkrankungen und neuen Sensibilisierungen führt, ist die gestiegene Pollenmenge (Ziello et al. 2012) in den vergangenen Jahrzehnten; vor allem in Städten. Als Ursachen werden die Temperaturzunahme sowie die erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration genannt (Beggs 2004). Ziello et al. (2012) dokumentieren eine generelle Zunahme der gesamten Pollenmenge auch in Deutschland: Von 584 Zeitreihen waren 21 % statistisch signifikanten Veränderungen unterworfen, 65 % davon zeigten wiederum einen Anstieg der Pollenmenge. Experimente in Klimakammern (Ziska und Caulfield 2000) oder entlang eines Stadt-Land-Gradienten (Ziska et al. 2003) bestätigten, dass höhere CO<sub>2</sub>-Werte zu einer verstärkten Pollenproduktion

der *Ambrosia* führen. Während der Dürreperiode im Jahr 2003 war jedoch eine deutlich geringere atmosphärische Pollenmenge von Beifuß, Ampfer und Brennnessel in der Südschweiz zu beobachten (Gehrig 2006). Ein weiterer Stressfaktor sind städtische Umweltbedingungen (Jochner et al. 2013): So war die Pollenproduktion der Birke (*Betula pendula* L.) in München gegenüber dem ländlichen Umland verringert.

Pollenallergene sind spezifische Proteine, die bei bestimmten Menschen zu einer immunologischen Überreaktion führen (Huyenen et al. 2003). Ob die jüngst zu beobachtende Temperaturerhöhung eine Veränderung der Allergenität mit sich bringt, ist noch nicht geklärt. Europäische Studien belegen, dass das Hauptallergen der Birke (Bet v 1) verstärkt bei höheren Temperaturen gebildet wird (Hjelmroos et al. 1995; Ahlholm et al. 1998). Im Gegensatz dazu waren der Allergengehalt von *Ambrosia* (Ziska et al. 2003) sowie des Weißen Gänsefußes (*Chenopodium alba*, Guedes et al. 2009) in Städten – also unter wärmeren Bedingungen – reduziert.

In Gebieten mit starker Luftverschmutzung reagieren Pollen mit Luftschadstoffen wie Ozon und Feinstaub, was die Allergenität der Pollen erhöht (Beck et al. 2013; Behrendt et al. 1992, 1997; D'Amato et al. 2010). So erzeugt z. B. die Interaktion zwischen Feinstaub und Pollen allergenhaltige Aerosole, die aufgrund ihrer Größe tief in die Lunge eindringen und bei sensibilisierten Personen Asthma auslösen können (Behrendt und Becker 2001). Zusätzlich begünstigen Dieselrußpartikel die Entstehung von Allergien (Fujieda et al. 1998).

#### ■ Anpassungsmaßnahmen

Ein wichtiges und gleichzeitig einfaches Instrumentarium zur Reduktion allergener Pollen ist die Stadtplanung (Bergmann et al. 2012). Durch die Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung von Straßenzügen, öffentlichen Plätzen und Parkanlagen kann die Pollenkonzentration allergologisch relevanter Arten maßgeblich gesteuert werden.

Die Kontrolle von kontaminierten Gütern wie z. B. Vogelfutter trägt zur Reduktion der weiteren Ausbreitung von *Ambrosia* bei. Ferner verringert eine Bekämpfung mit entsprechender Kontrolle der invasiven Pflanze durch Ausreißen und Mahd die Pollenkonzentration. In Deutschland existiert keine Meldepflicht für *Ambrosia*-Vorkommen, jedoch könnte die Einführung einer Meldepflicht nach dem Vorbild der Schweiz das Vorkommen drastisch dezimieren.

### 14.3.2 Infektionserkrankungen

Das Auftreten vieler Infektionserkrankungen ist u. a. von klimatischen Bedingungen abhängig, denn veränderte Temperaturen, Niederschlagsmuster und häufigere Extremwetterereignisse können sich auf die Vermehrung und Verbreitung von Krankheitserregern und deren Überträger (Vektoren) auswirken. Eine deutschlandspezifische Perspektive ist hierbei nicht ausreichend, da Tourismus, Migration und Warentransport dazu führen, dass sich Krankheitserreger leicht über Ländergrenzen hinweg ausbreiten. Wegen des knappen Raums können nur die wesentlichen Erkrankungen angesprochen werden.

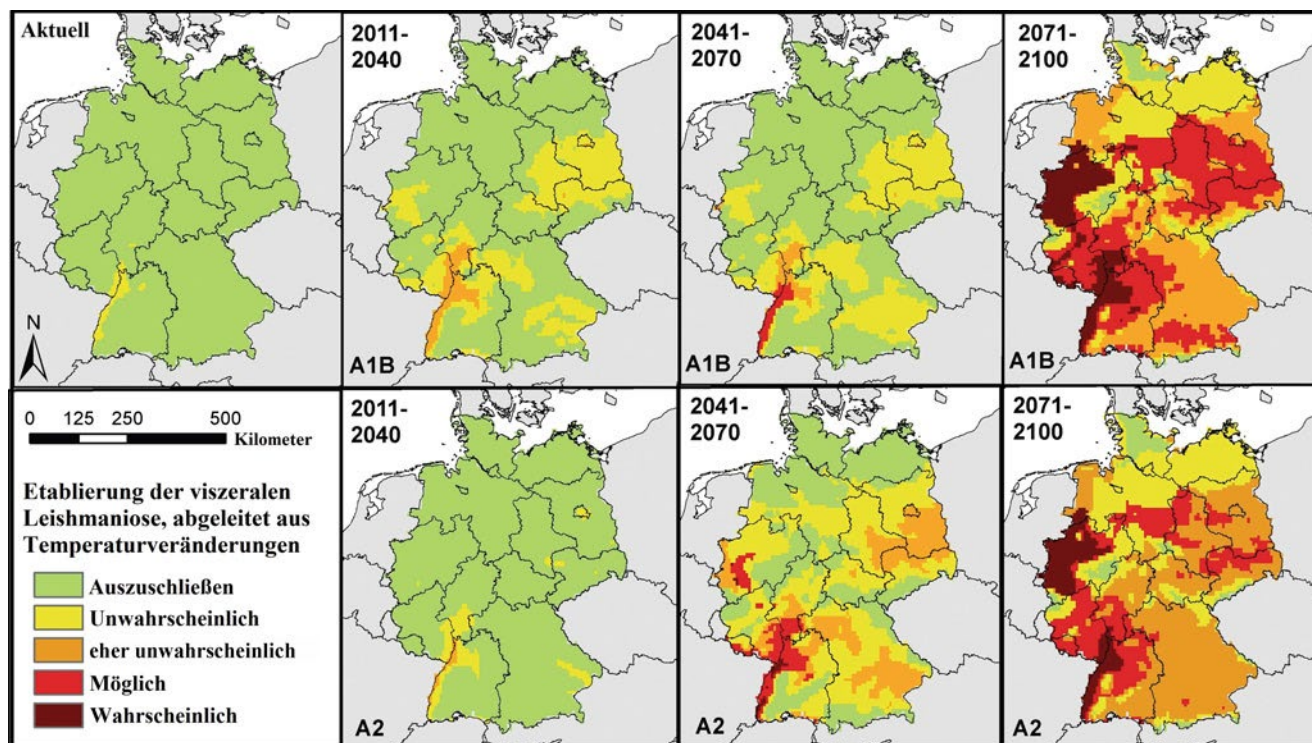
#### ■ Durch Nahrungsmittel oder Wasser übertragene Erkrankungen

Durch Nahrungsmittel verursachte Magen-Darm-Infektionen werden in Deutschland vor allem durch die Erreger *Campylobacter* (65.713 Fälle im Jahr 2010) und *Salmonella Typhi* (25.306 Fälle im Jahr 2010) ausgelöst und treten gehäuft im Frühjahr und im Sommer auf (ECDC 2013). Die Häufigkeit dieser und anderer mit Lebensmitteln assoziierten Erkrankungen kann durch Änderungen der Temperatur beeinflusst werden. So wird bei Infektionen mit Salmonellen ein linearer Anstieg der Krankheitsfälle um 5–10 % pro °C Temperaturerhöhung über einer Schwelle von 6°C beobachtet (Kovats et al. 2004). Jedoch war die Anzahl von Salmonelleninfektionen in Deutschland zuletzt eher rückläufig (RKI).

Krankheitserreger können auch durch Trinkwasser und Badegewässer oder bei Überschwemmungen auf den Menschen übertragen werden (Bezirtzoglou et al. 2011). Weltweit häufig beobachtete Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität durch Starkregenereignisse (Cann et al. 2013) wurden in Deutschland bisher nicht dokumentiert. In den vergangenen Jahren wurden jedoch vermehrt Vibrioneninfektionen an der Nord- und Ostsee registriert, die sich bisher vor allem in Wundinfektionen äußerten, aber auch zu Durchfallerkrankungen führen können. Auch die bei steigenden Wassertemperaturen oft sprunghafte Vermehrung von Cyanobakterien – auch Blaualgen genannt, daher der Begriff Algenblüte – in Binnenseen oder Küstengewässern der Ostsee birgt Gesundheitsrisiken, da teilweise Toxine freigesetzt werden, die z. B. zu Hautreizungen führen können (Stark et al. 2009).

#### ■ Durch Vektoren übertragene Erkrankungen

Vektoren sind Überträger von Krankheitserregern, die Infektionskrankheiten auslösen. In Deutschland sind die Lyme-Borreliose und die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) die bedeutendsten Vektorerkrankungen, denn sie werden durch die in Deutschland etablierten Zecken wie den gemeinen Holzbock (*Ixodes ricinus*) übertragen. Zecken, die den Borreliose-Erreger (*Borrelia burgdorferi*) übertragen, kommen im ganzen Bundesgebiet vor. Das FSME-Virus übertragende Zecken sind vor allem im Süden Deutschlands verbreitet (RKI 2013). Grundsätzlich begünstigt der zu erwartende Temperaturanstieg die Populationsdichte der Zecken sowie deren Ausbreitung nach Norden und in die Höhenzüge hinein. Zudem werden eine frühere Zeckenaktivität und damit eine verlängerte Zeckensaison erwartet. Veränderungen im Jahresniederschlag können die Lebensbedingungen für Zecken je nach Region verschlechtern (z. B. weniger Niederschlag im Nordosten) oder verbessern (z. B. mehr Niederschlag im Süden) (Süss et al. 2008). Seit dem Beginn der offiziellen Meldepflicht von FSME im Jahr 2001 zeichnet sich in den Daten des Robert Koch-Instituts zu den jährlichen FSME-Fallzahlen in Deutschland jedoch kein eindeutiger Trend ab. Denn auch wenn der Klimawandel das Zeckenvorkommen in der beschriebenen Weise begünstigt, sind die Infektionsraten in der Bevölkerung von vielen weiteren Faktoren abhängig, z. B. vom Anteil geimpfter Personen (bei FSME), von der Landnutzung und vom Freizeitverhalten der Menschen. In diesen Bereichen liegt auch das Potenzial für Anpassungsmaßnahmen (Lindgren und Jaenson 2006).



■ **Abb. 14.5** Einstufung von Risikogebieten für die viszerale Leishmaniose in Deutschland unter aktuellen und projizierten Temperaturbedingungen (SRES-Szenarien A1B und A2). Berücksichtigt wurden die Temperaturansprüche von Erreger (*Leishmania infantum*) und Überträger (*Phlebotomus* spp.). Die Berechnungen basieren auf 30-Jahres-Durchschnittsdaten. (Fischer et al. 2010)

Tropische Infektionserkrankungen treten in Deutschland bisher fast ausschließlich auf, wenn infizierte Personen aus dem Ausland nach Deutschland einreisen (Jansen et al. 2008). Die Gefahr von autochthonen Infektionen – also einer Ansteckung innerhalb Deutschlands – setzt voraus, dass der Krankheitserreger und der passende Vektor hierzulande vorkommen und dass es ausreichend warm für die Erregerentwicklung im Vektor ist. Diese beiden Bedingungen werden durch steigende Durchschnittstemperaturen begünstigt (Hemmer et al. 2007).

So verbessern sich in Deutschland die klimatischen Bedingungen für die Ausbreitung von Malaria. Doch war die Malaria bis Mitte des 20. Jahrhunderts ohnehin in Europa verbreitet; sie wurde erst durch die Trockenlegung von Brutgebieten, Mückenbekämpfung und verbesserte Gesundheitsversorgung ausgerottet (Dalitz 2005). Unter Fortführung dieser Maßnahmen ist eine Wiederausbreitung der Malaria bis 2050 in Deutschland daher unwahrscheinlich (Holy et al. 2011).

Im Fall des Denguefiebers wurden in den vergangenen Jahren einzelne örtlich begrenzte autochthone Ausbrüche in südeuropäischen Regionen verzeichnet (Tomasello und Schlagenhauf 2013). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Vektor – die Mückenart *Aedes albopictus* – in vielen Teilen Südeuropas bereits etabliert ist und die Erreger durch infizierte Touristen aus tropischen Ländern eingeschleppt wurden. In Deutschland wird *Aedes albopictus* seit 2007 vereinzelt entlang der Verkehrsrouten aus dem Süden angetroffen (Becker et al. 2013). Autochthone Krankheitsfälle von Denguefieber sind in Deutschland bisher nicht bekannt, könnten aber bis 2050 vereinzelt vorkommen.

Die Leishmaniose (Erreger: *Leishmania infantum*) ist eine in mediterranen Ländern etablierte Erkrankung, die Geschwüre der Haut und Organschäden hervorruft. In Deutschland sind bisher vor allem aus diesen Ländern eingeführte Hunde betroffen, die die Krankheit auch auf Menschen übertragen können (Aspöck et al. 2008). Der eigentliche Vektor der Leishmanien ist jedoch die Sandfliege (*Phlebotomus* spp.). Autochthone Fälle der Leishmaniose traten in Deutschland bisher so gut wie nicht auf, da die Temperaturen für die Etablierung von Sandfliegen und Leishmanien bisher zu niedrig sind. Unter Zuhilfenahme von Klimaprojektionen (Emissionsszenarien SRES A1B und A2) kann jedoch gezeigt werden, dass im Zuge des Klimawandels die autochthone Übertragung von Leishmaniose bis Ende des Jahrhunderts in einigen Regionen Deutschlands wahrscheinlicher wird (■ Abb. 14.5; Fischer et al. 2010).

Das Hantavirus gilt als eine Erkrankung, die für menschliche Populationen zunehmend relevant wird (Ulrich et al. 2002). In Deutschland findet die Übertragung des Hantavirus häufig durch die Inhalation von Aerosolen aus erregerhaltigen Ausscheidungen von Rötelmäusen statt (RKI 2012). Die Anzahl von Hantavirusinfektionen ist stark von der Größe der Nagerpopulationen abhängig. Diese kann durch den Klimawandel begünstigt werden, z. B. durch geringere Dezimierung in milderen Wintern oder durch besonders gute Futterbedingungen im Herbst (Buchenmast) (Faber et al. 2010). Dies kann auch für das Auftreten anderer durch Nagetiere übertragene Erkrankungen wie die Hantavirus (Tularämie) oder das Feldfieber (Leptospirose) bedeutsam sein.



■ **Tab. 14.1** Übersicht über die wesentlichen klimasensiblen Infektionskrankheiten, ihre Erreger, den Übertragungsweg (ggf. Vektor) und eine Einschätzung der Zunahme des Risikos je nach Zeitrahmen und Ausmaß der globalen Erwärmung (+2 °C bis +4 °C). Die qualitative Einschätzung orientiert sich an der im Text zitierten Literatur

Krankheit	Erreger	Übertragung (ggf. Vektor)	Derzeitige Gefährdung	Bis 2050	Bis 2100 +2 °C-Welt	Bis 2100 +4 °C-Welt
Magen-Darm-Erkrankungen (ggf. Wundinfektionen und Blutvergiftung bei Vibrionen)	Salmonellen, <i>Campylobacter</i> und andere	Nahrung	++	++	++	++
	<i>Giardia lamblia</i>	Süßwasser	+	+	+	++
	<i>Cryptosporidium</i>		+	+	+	++
	<i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i>		+	++	++	+++
	Vibrionen (z. B. <i>V. cholerae</i> )	Süß- und Meerwasser	+	+	+	++
Hautreizungen, Magen-Darm-Beschwerden, Leberschäden, neuronale Schäden	Toxin produzierende Cyanobakterien („Blualgen“), Toxin-Beispiele: Microcystine, Anatoxin	Meerwasser, Verzehr von Meeresfrüchten, selten Trinkwasser	0	+	+	++
Lyme-Borreliose	<i>Borrelia burgdorferi</i>	Zecken ( <i>Ixodes ricinus</i> )	+	++	++	+++
FSME*	FSME-Virus		+	+	++	+++
Leptospirose (Feldfieber)	Spirochäten	Nager (ggf. im Zuge von Überschwemmung**)	+	+	+	++
HFRS***	Hantavirus (Art: Puumalavirus)	Nager	+	+	++	++
Tularämie (Hasenpest)	<i>Francisella tularensis</i>	Nager, Zecken, Mücken	+	+	+	++
Malaria tropica	<i>Plasmodium falciparum</i>	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Malaria tertiana	<i>Plasmodium vivax</i> , <i>Plasmodium ovale</i>	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Leishmaniose der Haut	<i>Leishmania infantum</i>	Sandmücken	0	+	+	+++
Denguefieber	Denguevirus	Aedes-Mücken	0	+	+	+++
Gelbfieber	Gelbfiebertivirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
Chikungunyafieber	Chikungunyavirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
West-Nil-Fieber (WNF)	WNF-Virus	Culex-Mücken	0	+	+	++

\*FSME = Frühsommer-Meningoenzephalitis, \*\*Süßwasserüberschwemmungen, \*\*\*HFRS: hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom

0 = praktisch keine Gefährdung, + = Krankheit kommt vereinzelt vor, ++ = Krankheit häufiger, gut beherrschbar, +++ = Krankheit häufiger, Herausforderung für Anpassung

■ Tab. 14.1 gibt eine Übersicht über die wesentlichen klimasensiblen Infektionskrankheiten für Deutschland und eine Einschätzung zum Gesundheitsrisiko je nach Zeitrahmen und Klimaprojektion.

#### ■ Anpassungsmaßnahmen

Zum Schutz vor Infektionskrankheiten könnte das bisher passive Meldesystem durch ein aktives Warnsystem ergänzt werden, in dem Daten aus Epidemiologie, Veterinärmedizin und Ökologie integriert werden. Dabei ist auch die Aufklärung der Menschen bezüglich gesundheitsrelevanter Verhaltensweisen wichtig, z. B. Zecken- oder Mückenschutz. Insbesondere im Gesundheitssektor sollte durch die Stärkung des Bewusstseins für bisher seltene Infektionskrankheiten deren Prävention, rasche Diagnose und Behandlung gewährleistet werden (Panic und Ford 2013). Die

Entwicklung von neuen Medikamenten und Impfstoffen ist angesichts der bedrohlichen Resistenzentwicklung eine Aufgabe, der sich Wirtschaft und Zivilgesellschaft verstärkt stellen sollten. Insgesamt sollte sowohl in Deutschland als auch in Projekten der Entwicklungszusammenarbeit eine Stärkung der Gesundheitsversorgung, insbesondere der Basisversorgung, im Vordergrund stehen (Menne et al. 2008).



■ **Tab. 14.2** Anzahl der Tage, an denen in Deutschland von 1994 bis 2004 Acht-Stunden-Mittelwerte von Ozon über  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden (für das jeweilige Jahr über alle Ozon-Messstationen gemittelt), *fett gedruckt*: der außerordentlich heiße Sommer 2003. (Aus Mücke 2008)

Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Anzahl Tage	32	29	20	22	19	21	19	21	19	<b>51</b>	19

■ **Tab. 14.3** Anzahl der Tage in den Jahren 2001–2004 mit Überschreitungen des 24-Stunden-Mittelwerts von Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) von  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Deutschland, *fett gedruckt*: der außerordentlich heiße Sommer 2003. (Aus Mücke 2008)

Jahr	2001	2002	2003	2004
An der Verkehrsmessstation mit der höchsten Belastung	117	103	<b>132</b>	73
Über verkehrsbezogene Messstationen in der Stadt gemittelt	65	75	<b>82</b>	55
Über städtische Hintergrundstationen gemittelt	22	30	<b>38</b>	16
Über ländliche Hintergrundstationen gemittelt	7	12	<b>17</b>	5

### 14.3.3 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe

Luftverunreinigungen beeinträchtigen die Gesundheit des Menschen. Durch den Anstieg der mittleren Lufttemperatur im Rahmen des Klimawandels verändern sich die Transport- und Durchmischungsprozesse in der Atmosphäre. Das beeinflusst die physikalischen und chemischen Komponenten der Luftqualität. Lufthygienisch relevante Extremwetterereignisse werden vor allem während der Sommerhalbjahre vermehrt und verstärkt vorkommen. Hierzu zählen insbesondere Hitzeepisoden mit gleichzeitig erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen (Vandentorren und Empereur-Bissonnet 2005; Menne und Ebi 2006; ► Kap. 13). Trocken-heiße Witterung mit starker Sonneneinstrahlung intensiviert zum einen die Bildung des Luftschadstoffs Ozon (Mücke 2011). Zum anderen kann sich die Belastung durch Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) erhöhen, und zwar anthropogen bedingt etwa durch den Automobilverkehr und durch andere Ursachen wie Waldbrände – dann steigt auch die Luftverunreinigung mit Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid (Kislitsin et al. 2005). Dies zeigt z. B. eine Auswertung der Ozon- und  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen des Sommers 2003 für Deutschland (■ Tab. 14.2 und 14.3; Mücke 2008). Darüber hinaus können durch Luftverunreinigungen veränderte natürliche biologische Luftbeimengungen wie z. B. Pollen eine Quelle für zusätzliche gesundheitliche Belastungen sein (Behrendt et al. 1992, 1997; ► Abschn. 14.3.1).

Im Nachgang des Hitzesommers 2003 wurde u. a. im europaweiten Projekt EuroHeat belegt, dass der Effekt von Hitzetagen auf die Mortalität durch erhöhte Konzentrationen von Ozon und Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) verstärkt wird. Dieser Kombinationseffekt trifft insbesondere für die Risikogruppe der älteren Menschen, Kleinkinder und chronisch kranken Personen zu (WHO 2009). Zudem sind Luftschadstoffe vor allem für Menschen in städtischen Ballungsräumen bedeutsam (Bell et al. 2004; Noyes et al. 2009; ► Kap. 13).

Eine Trennung bzw. Zuordnung der Gründe für eine erhöhte Mortalität ist schwierig und mit Unsicherheiten behaftet, da zwi-

schen den Einflussfaktoren Hitze, Luftschadstoffe und Aeroallergene starke Wechselwirkungen bestehen. Dass die lokale Luftverschmutzung durch Ozon und  $\text{PM}_{10}$  sowie heiße Witterung synergistisch wirken und ggf. die Gesamt mortalität steigern, untersuchten Burkart et al. (2013) für Lissabon und Berlin. Es kann derzeit aber noch nicht abschließend bewertet werden, ob es sich bei den erhöhten Sterblichkeitsraten bei Hitze und Luftverschmutzung immer um synergistische Effekte handelt oder auch um parallele Einzelwirkungen (Noyes et al. 2009). Studien zum Kombinationseffekt von Lufttemperatur und unterschiedlichen Konzentrationsniveaus von Luftschadstoffen zeigen, dass der Einfluss der Temperatur auf die Mortalität in Gebieten mit niedriger bis mittlerer Luftschadstoffbelastung stärker ist als der der Luftschadstoffe (Goncalves et al. 2007; Krstic 2011). Doch stellten Katsouyanni et al. (2001) auch fest, dass eine hohe Lufttemperatur den ungünstigen Einfluss von Schadstoffen auf die Gesundheit verstärkt: In einer warmen Klimaregion bewirkt ein Feinstaubanstieg von  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  eine Zunahme der Gesamt mortalität um 0,8 %, hingegen beträgt die Zunahme in kühlerem Klima nur 0,3 %.

Eine stärkere Luftschadstoffwirkung bei hoher Lufttemperatur wirkt sich zum einen besonders auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und die dadurch bedingte Sterblichkeit aus, also z. B. Herzinfarkte (Choi et al. 2007; Lin und Liao 2009; Ren et al. 2009). Zum anderen werden Erkrankungen der Atemwege wie Asthma (Hanna et al. 2011; Lavigne et al. 2012), chronisch-obstruktive Atemwegserkrankungen (Yang und Chen 2007) und Lungenentzündungen (Chiu et al. 2009) begünstigt. Dies wird u. a. damit begründet, dass sich die Menschen in der warmen Jahreszeit mehr im Freien aufhalten und deshalb auch gegenüber Luftschadstoffen verstärkt exponiert sind (Stieb et al. 2009).

Um durch Luftschadstoffe hervorgerufene gesundheitliche Belastungen zu vermeiden, sollte die Bevölkerung auf längere körperliche Anstrengungen zu Zeiten hoher Ozonkonzentrationen während der Mittags- und Nachmittagsstunden verzichten. Auf öffentlicher Seite sollten aus umwelt- und gesundheitspolitischer Sicht die Zielwerte für Luftschadstoffe dauerhaft ein-

gehalten werden. Einem unkontrollierten Anstieg des Energieverbrauchs und damit einhergehender Emissionen – etwa von Ozonvorläufersubstanzen, weil im Sommer vermehrt Klimaaanlagen eingesetzt werden – ist vorzubeugen.

#### 14.4 Synergien von Klima- und Gesundheitsschutz

Klima- und Gesundheitspolitik können synergistisch wirken. Man spricht hier von *win-win*-Situationen oder den *health co-benefits* von Klimaschutzmaßnahmen. Beispiele für solche Effekte in Deutschland sind:

- Fahrradfahren und andere Formen des aktiven Transports vermeiden nicht nur CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern reduzieren auch das Herz-Kreislauf-Risiko (Woodcock et al. 2009).
- Verminderte Treibhausgasmissionen durch verminderten Kfz-Verkehr, Energieeinsparungen und saubere Energiegewinnung verringern insbesondere in Städten die gesundheitlichen Risiken durch Luftverschmutzung (Markandya et al. 2009).
- Eine Steigerung der Energieeffizienz durch gute Gebäudeisolierung kann die Anzahl von Krankheits- und Sterbefällen durch Hitze und Kälte reduzieren (Wilkinson et al. 2009).
- Städtebauliche Maßnahmen wie der Ausbau städtischer Grünflächen bewirken eine CO<sub>2</sub>-Reduktion in der Luft und verringern durch kühlere Luft und Schatten (► Kap. 22) das Risiko hitzebedingter Gesundheitsschäden (UN-HABITAT und EcoPlan International 2011).
- Vier Fünftel der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen – insbesondere Methan – werden durch Viehzucht verursacht. Eine Ernährung mit einem hohen Anteil gesättigter Fettsäuren aus tierischen Produkten kann das Herz-Kreislauf-Risiko erhöhen. Gemeinsam betrachtet kann eine Verringerung des Konsums tierischer Produkte und eine damit einhergehende Verringerung des Viehbestands somit dem Klima- und Gesundheitsschutz zuträglich sein (Friel et al. 2009).

Eine Förderung dieser und ähnlicher Maßnahmen würde dem Klima- und dem Gesundheitsschutz gleichermaßen gerecht.

#### 14.5 Kurz gesagt

Die WHO hat 2009 den Klimawandel als bedeutende und weiterhin zunehmende Bedrohung für die Gesundheit eingestuft. Dies gilt auch für Deutschland. Direkte Auswirkungen, die wir in Deutschland beobachten, sind beispielsweise eine steigende Anzahl von warmen Tagen und Hitzewellen, die vor allem chronisch Kranke und alte Menschen belasten. Zudem wirken sich Wetterphänomene auf Erreger und Überträger von Infektionskrankheiten, Pollenflug sowie Luftschadstoffe aus und beeinflussen dadurch indirekt die Gesundheit. Beispiele hierfür sind eine verlängerte Pollensaison mit verstärkter Belastung von Allergikern und die steigende Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Infektionserkrankungen auftreten. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass klimatische Veränderungen auch das (Frei-

zeit-)Verhalten der Menschen beeinflussen, die sich z. B. mehr im Freien aufhalten werden. Dadurch bedingt kann es zu einer erhöhten Exposition gegenüber UV-Strahlung, Vektoren wie Zecken oder auch Luftschadstoffen kommen, was die Gesundheit nochmals beeinträchtigen würde.

Klima- und Gesundheitspolitik weisen erhebliche Synergien auf. Diese müssen genutzt werden, um sowohl klimatische Veränderungen insgesamt als auch deren Folgen für die Gesundheit zu minimieren. Solche Maßnahmen zur Vermeidung sowie Anpassung an den Klimawandel sollten in intersektoraler Zusammenarbeit entwickelt und evaluiert werden.

#### Literatur

- Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J (1998) Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp *czerepanovii* [Orl] Hamet-ahti) pollen. *Clin Exp Allergy* 28:1384–1388
- Aspöck H, Gerersdorfer T, Formayer H, Walochnik J (2008) Sandflies and sandfly-borne infections of humans in Central Europe in the light of climate change. (Review). *Wien Klin Wochenschr* 120(19–20 Suppl 4):24–29. doi:10.1007/s00508-008-1072-8
- Augustin J, Paesel KH, Mücke H-G, Grams H (2011) Anpassung an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Untersuchung eines Hitzewarnsystems am Fallbeispiel Niedersachsen. *Präv Gesundheitsf* 6:179–184
- Beck I, Jochner S, Gilles S, McIntyre M, Buters JTM, Schmidt-Weber C, Behrendt H, Ring J, Menzel A, Traidl-Hoffmann C (2013) High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLoS ONE*. doi:10.1371/journal.pone.0080147
- Becker N, Geier M, Balczun C, Bradersen U, Huber K, Kiel E, Tannich E (2013) Repeated introduction of *Aedes albopictus* into Germany, July to October 2012. [Research Support, Non-US Gov't. *Parasitol Res* 112(4):1787–1790. doi:10.1007/s00436-012-3230-1
- Beggs PJ (2004) Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 34:1507–1513
- Behrendt H, Becker WM (2001) Localization, release and bioavailability of pollen allergens: the influence of environmental factors. *Curr Opin Immunol* 13:709–715
- Behrendt H, Becker WM, Friedrichs KH et al (1992) Interaction between aeroallergens and airborne particulate matter. *Int Arch Allergy Immunol* 99:425–428
- Behrendt H, Becker WM, Fritzsche C et al (1997) Air pollution and allergy: experimental studies on modulation of allergen release from pollen by air pollutants. *Int Arch Allergy Immunol* 113(1–3):69–74
- Bekki S, Bodeker GE (2010) Future ozone and its impact on surface UV. Ozone assessment report 2010. World Meteorological Organization, Global ozone research and monitoring project, Report no 52
- Bell ML, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, Dominici F (2004) Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities 1987–2000. *JAMA* 292:2372–2378
- Bergmann K-C, Zuberbier T, Augustin J, Mücke H-G, Straff W (2012) Klimawandel und Pollenallergie: Städte und Kommunen sollten bei der Bepflanzung des öffentlichen Raums Rücksicht auf Pollenallergiker nehmen. *Allergo J* 21(2):103–108
- Bezirtzoglou C, Dekas K, Charvalos E (2011) Climate changes, environment and infection: facts, scenarios and growing awareness from the public health community within Europe. *Anaerobe* 17(6):337–340. doi:10.1016/j.anaerobe.2011.05.016
- Bharath AK, Turner RJ (2009) Impact of climate change on skin cancer. *J R Soc Med* 102:215–218
- Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, Matthies F, Shoukri M, Menne B (2007) Prognostic factors in heat related deaths: a meta-analysis. *Arch Intern Med* 127(20):2170–2176

- Breitbart EW, Waldmann A, Nolte S, Capellaro M, Greinert R, Volkmer B, Katalinic A (2012) Systematic skin cancer screening in Northern Germany. *J Am Acad Dermatol* 66(2):201–211
- Burkart K, Canário P, Scherker B, Breitner S, Schneider A, Alcoforado MJ, Endlicher W (2013) Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon. *Environ Pollut* 183:54–63
- Cann KF, Thomas DR, Salmon RL, Wyn-Jones AP, Kay D (2013) Extreme water-related weather events and waterborne disease. [Research Support, Non-US Gov't Review. *Epidemiol Infect* 141(4):671–686. doi:10.1017/S0950268812001653
- Chiu HF, Cheng MH, Yang CY (2009) Air pollution and hospital admissions for pneumonia in a subtropical city: Taipei. *Taiwan Inhal Toxicol* 21(1):32–37. doi:10.1080/08958370802441198
- Chmielewski F-M (2007) Phänologie – ein Indikator der Auswirkungen von Klimawandel auf die Biosphäre. *Promet* 33(1/2):28–35
- Choi JH, Xu QS, Park SY, Kim JH, Hwang SS, Lee KH, Hong YC (2007) Seasonal variation of effect of air pollution on blood pressure. *J Epidemiol Community Health* 61:314–318
- Coumou D, Robinson A (2013) Historic and future increase in the frequency of monthly heat extremes. *Environ Res Lett* 8:034018. doi:10.1088/1748-9326/8/3/034018
- Coumou D, Robinson A, Rahmstorf S (2013) Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures. *Clim Chang* 118(3–4):771–782
- Dalitz MK (2005) Autochthone Malaria in Mitteldeutschland. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M et al (2010) Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *J Investig Allergol Clin Immunol* 20(2):95–102
- Deussen A (2007) Hyperthermia and hypothermia – Effects on the cardiovascular system. *Anaesthesist* 56(9):907–911
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramón M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iñiguez C, Perucci CA (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 9:37
- Eis D, Helm D, Laußmann D, Stark K (2010) Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. Robert-Koch-Institut, Berlin
- Endlicher W (2012) Einführung in die Stadtökologie. Ulmer, Stuttgart
- Environment Canada (2013) <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selectMap>. Zugriffen: 17. Dez. 2013
- European Center for Disease Prevention and Control (2013) Annual epidemiological report 2012. Reporting on 2010 surveillance data and 2011 epidemic intelligence data. Stockholm
- Faber MS, Ulrich RG, Frank C, Brockmann SO, Pfaff GM, Jacob J, Krüger DH, Stark K. Steep rise in notified hantavirus infections in Germany, April 2010. *Euro Surveill.* 2010;15(20):pii=19574. Available online: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19574>
- Fernandez Rodriguez S, Adams-Groom B, Tormo Molina R, Palacios S, Brandao RM, Caeiro E, Gonzalo Garijo A, Smith M (2012) Temporal and spatial distribution of Poaceae pollen in areas of southern United Kingdom, Spain and Portugal. The 5th European Symposium on Aerobiology. 3–7 September 2012, Krakow, Poland. *Alergologia Immunologia* 9(2–3):153
- Fischer D, Thomas SM, Beierkuhnlein C (2010) Temperature-derived potential for the establishment of phlebotomine sandflies and visceral leishmaniasis in Germany. *Geospat Health* 5(1):59–69
- Frei und Gassner 2008
- Friel S, Dangour AD, Garnett T, Lock K, Chalabi Z, Roberts I, Haines A (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *Lancet* 374(9706):2016–2025. doi:10.1016/S0140-6736(09)61753-0
- Fujieda S, Diaz-Sanchez D, Saxon A (1998) Combined nasal challenge with diesel exhaust particles and allergen induces in vivo IgE isotype switching. *Am J Respir Cell Mol Biol* 19(3):507–512
- Gabriel K, Endlicher W (2011) Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg. *Germany Environ Pollut* 159:2044–2055
- Gehrig R (2006) The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia* 22:27–34
- Goncalves et al. 2007
- Greinert R, Breitbart EW, Volkmer B (2008) UV-induzierte DNA-Schäden und Hautkrebs. In: Kappas M (Hrsg) Klimawandel und Hautkrebs. Ibidem, Stuttgart, S 145–173
- Guedes et al. 2009
- Hanna AF, Yeatts KB, Xiu A, Zhu Z, Smith RL, Davis NN, Talgo KD, Arora G, Robinson PJ, Meng Q, Pinto JP (2011) Associations between ozone and morbidity using the Spatial Synoptic Classification system. *Environ Health* 10:49
- Hemmer CJ, Frimmel S, Kinzelbach R, Gurtler L, Reisinger EC (2007) Globale Erwärmung: Wegbereiter für tropische Infektionskrankheiten in Deutschland? *Dtsch Med Wochenschr* 132(48):2583–2589. doi:10.1055/s-2007-993101
- Heudorf U, Meyer C (2005) Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003. *Gesundheitswesen* 67:369–374
- Hjelmroos M, Schumacher MJ, van Hage-Hamsten M (1995) Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Appl Immunol* 108:368–376
- Hoffmann B, Hertel S, Boes T, Weiland D, Jockel KH (2008) Increased cause-specific mortality associated with 2003 heat wave in Essen. *Germany J Toxicol Env Heal A* 71(11–12):759–765
- Holy M, Schmidt G, Schröder W (2011) Potential malaria outbreak in Germany due to climate warming: risk modelling based on temperature measurements and regional climate models. *Environ Sci Pollut Res* 18(3):428–435. doi:10.1007/s11356-010-0388-x
- Huynen M et al (2003) Phenology and human health: allergic disorders. Report on a WHO meeting, Rome, Italy, 16–17 January 2003.
- Ilyas M (2007) Climate augmentation of erythral UV-B radiation dose damage in the tropics and global change. In: *Curr Sci* 93(11):1604–1608
- IPCC (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva
- IPCC (2013) Summary for policymakers. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Hrsg) Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Jansen A, Frank C, Koch J, Stark K (2008) Surveillance of vector-borne diseases in Germany: trends and challenges in the view of disease emergence and climate change. *Parasitol Res* 103(1):11–17. doi:10.1007/s00436-008-1049-6
- Jendritzky G, Bröde P, Fiala D, Havenith G, Weihs P, Batcherova E, DeDear R (2009) Der Thermische Klimaindex UTCI. In: Wetterdienst D (Hrsg) Klimastatusbericht 2009. Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Selbstverlag), Offenbach a.M., S 96–101 ([www.utci.org](http://www.utci.org))
- Jochner S, Höfler J, Beck I, Göttlein A, Ankerst DP, Traidl-Hoffmann C, Menzel A (2013) Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? *J Exp Bot* 64(7):2081–2092
- Katalinic A (2013) Wie häufig ist Hautkrebs in Deutschland? Gesellschaftspolitische Kommentare – Sonderausgabe Hautkrebs 1(2013):7–8
- Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12:521–531
- Kelfkens G, Verliders GJM, Slaper H (2002) Integrated risk assessment. In: Kelfkens G, Bregmann A, de Gruij FR, van der Leun JC, Piquet A, van Oijen T, Gieskes WWC, van Loveren H, Velders GJM, Martens P, Slaper H (Hrsg) Ozone layer – climate change interactions. Influence on UV levels and UV related effects. Summary report of OCCUR (Ozone and Climate Change interaction effects for Ultraviolet radiation and Risks)
- Kislitsin V, Novikov S, Skvortsova N (2005) Moscow smog of summer 2002. Evaluation of adverse health effects 255–265. In: Kirch W, Menne B, Bertollini R (Hrsg) Extreme weather events and public health responses. WHO Regional Office for Europe. Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- Knuschke P, Unverricht I, Ott G, Janssen M (2007) Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Abschlussbericht zum Projekt „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitneh-



- mern im Freien“ – Projekt F 1777. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- Köpke P, Placzek M, Staiger H, Winkler P (2007) Solare UV-Strahlung und ihre Wirkung auf den Menschen. *Promet* 33(3/4):95–108 (Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach)
- Koppe C (2005) Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i Brsg
- Koppe C, Jendritzky G (2005) Inclusion of short-term adaptation to thermal stresses in a heat load warning procedure. *Meteorol Z* 14(2):271–278
- Koppe C, Kovats S, Jendritzky G, Menne B (2004) Heat-waves: risks and responses. World Health Organisation (WHO) Europe, Kopenhagen
- Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B (2004) The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* 132(3):443–453. doi:10.1017/s0950268804001992
- Krstic G (2011) Apparent temperature and air pollution vs. elderly population mortality in Metro Vancouver. *PLoS ONE* 6:e25101
- Langen U, Schmitz R, Steppuhn H (2013) Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl* 56:698–706
- Larsen J (2006) Setting the record straight: More than 52,000 Europeans died from heat in summer 2003. [http://www.earth-policy.org/plan\\_b\\_updates/2006/update56](http://www.earth-policy.org/plan_b_updates/2006/update56). Zugriffen: 13. Dez. 2013
- Lavigne E, Villeneuve PJ, Cakmak S (2012) Air pollution and emergency department visits for asthma in Windsor, Canada. *Can J Public Health* 103:4–8
- Van der Leun JC, de Gruijl FR (2002) Climate change and skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 1:324–326
- Van der Leun JC, Piacentini RD, de Gruijl FR (2008) Climate change and human skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 7:730–733
- Lin CM, Liao CM (2009) Temperature-dependent association between mortality rate and carbon monoxide level in a subtropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Int J Environ Health Res* 19:163–174
- Lindgren E, Jaenson T (2006) Lyme Borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. World Health Organisation (WHO). [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/96819/E89522.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/96819/E89522.pdf). Zugriffen: 12. März 2014
- Markandya A, Armstrong BG, Hales S, Chiabai A, Criqui P, Mima S, Tonne C, Wilkinson P (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: low-carbon electricity generation. *Lancet* 374(9706):2006–2015. doi:10.1016/S0140-6736(09)61715-3
- Matthies F, Bickler G, Cardenaosa Marín N, Hales S (2008) Heat-health action plans. World Health Organisation Europe, Kopenhagen
- Menne B, Ebi KL (Hrsg) (2006) Climate change and adaptation strategies for human health. Published on behalf of the World Health Organization, Regional Office for Europe. Steinkopff, Darmstadt
- Menne B, Matthies F (Hrsg) (2009) Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. World Health Organisation/Europe, Kopenhagen
- Menne B, Apfel F, Kovats S, Racioppi F (2008) Protecting health in Europe from climate change. World Health Organisation (WHO) Europe, Kopenhagen
- Menzel A, Estrella N (2001) Plant phenological changes. In: Walther G-R, Burga CA, Edwards PJ (Hrsg) „Fingerprints“ of climate change: Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic/Plenum, New York, S 123–137
- Menzel A et al (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Chang Biol* 12:1969–1976
- Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D, Marino C et al (2009) High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med* 179:383–389
- Mücke H-G et al (2008) Gesundheitliche Auswirkungen von klimabeeinflussten Luftverunreinigungen. In: Lozan J (Hrsg) Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, GEO Wissenschaftliche Auswertungen. Universitätsverlag, Hamburg, S 121–125
- Mücke H-G (2011) Beurteilung von troposphärischen Ozonkonzentrationen in Europa auf der Grundlage der Luftgüteleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). *Immissionsschutz* 16(3):108–112
- Norval M, Lucas RM, Cullen AP, de Gruijl FR, Longstreth J, Takizawa Y, van der Leun JC (2011) The human health effects of ozone depletion and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci* 10:199–255
- Noyes PD, McElwee ME, Miller HD, Clark BW, Van Tiem LA, Walcott KC, Erwin Levin KNED (2009) The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environ Int*. 2009 Aug;35(6):971–86. doi: 10.1016/j.envint.2009.02.006. Epub 2009 Apr 16.
- Otto C, Alberternst B, Klingenstein F, Nawrath S (2008) Verbreitung der Beifußblättrigen Ambrosie in Deutschland. BfN-Skripten, Bd. 235. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn, Bad Godesberg
- Panic M, Ford JD (2013) A review of national-level adaptation planning with regards to the risks posed by climate change on infectious diseases in 14 OECD nations. *Int J Environ Res Public Health* 10(12):7083–7109. doi:10.3390/ijerph1012708
- Parsons KC (2003) Human thermal environments: The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance, 2. Aufl. Taylor & Francis, London
- Pawankar R, G W Canonica, ST Holgate, Lockey RF (2011) WAO white book on allergy 2011–2012: Executive summary. World Allergy Organization, Milwaukee. [www.worldallergy.org/publications/wao\\_white\\_book.pdf](http://www.worldallergy.org/publications/wao_white_book.pdf). Zugriffen: 17. Dez. 2013
- PID (Polleninformationsdienst) (2012) Pollenvorhersage – Der Weg ihrer Entstehung. Neuer Pollenflugkalender für Deutschland. [www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenflug-kalender/](http://www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenflug-kalender/). Zugriffen: 12. Dez. 2013
- Rahmstorf S, Coumou D (2011) Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(44):17905–17909
- Ren C, Williams GM, Tong S (2006) Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environ Health Perspect* 114:1690–1696
- Ren C, Williams GM, Morawska L, Mengersen K, Tong S (2008) Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occup Environ Med* 65:255–260
- Ren C, Williams GM, Mengersen K, Morawska L, Tong S (2009) Temperature enhanced effects of ozone on cardiovascular mortality in 95 large US communities, 1987–2000: Assessment using the NMMAPS data. *Arch Environ Occup Health* 64:177–184
- Rieder HE, Staehelin J, Maeder JA, Peter T, Ribatet M, Davison AC, Stübi R, Weihs R, Holawe F (2010) Extreme events in total ozone over Arosa – Part 1: Application of extreme value theory. *Atmos Chem Phys* 10:10021–10031
- RKI – Robert Koch-Institut (2012) Hantavirus-Erkrankungen: Hinweise auf Anstieg der Fallzahlen in 2012. *Epidemiologisches Bulletin* 10: Robert Koch-Institut (2013) FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: Mai 2013). *Epidemiologisches Bulletin* 18:
- Roberts S (2004) Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environ Res* 96:328–337
- Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol* 331(2):171–178
- Schär C, Jendritzky G (2004) Climate change: Hot news from summer 2003. *Nature* 432(7017):559–560
- Scherber K, Endlicher W, Langner M (2013a) Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account. *Erde* 144(3–4):217–237
- Scherber K, Endlicher W, Langner M (2013b) Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg. In: Jahn H, Krämer A, Wörmann T (Hrsg) Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, S 25–38
- Schneider A, Breitner S, Wolf K, Hampel R, Peters A, Wichmann H-E (2009) Ursachenspezifische Mortalität, Herzinfarkt und das Auftreten von Beschwerden bei Herzinfarktüberlebenden in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in Bayern (MOHIT). Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie (Hrsg), München. [http://www.helmholtzmuenchen.de/fileadmin/EPI\\_II/PDF/Schlussbericht\\_Endfassung\\_MOHIT\\_Dec2009.pdf](http://www.helmholtzmuenchen.de/fileadmin/EPI_II/PDF/Schlussbericht_Endfassung_MOHIT_Dec2009.pdf). Zugriffen: 13. Dez. 2013
- Seneviratne SI, Donat M, Mueller B, Alexander LV (2014) No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nat Clim Chang* 4:161–163

- Shoham A, Hadziahmetovic M, Dunaief JL, Mydlarski MB, Shipper HM (2008) Oxidative stress in diseases of the human cornea. *Free Radic Biol Med* 45:1047–1055
- Stark K, Niedrig M, Biederbick W, Merkert H, Hacker J (2009) Die Auswirkungen des Klimawandels. Welche neuen Infektionskrankheiten und gesundheitlichen Probleme sind zu erwarten? *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 52(7):699–714. doi:10.1007/s00103-009-0874-9
- Stieb DM, Szyszkowicz M, Rowe BH, Leech JA (2009) Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environ Health* 8:25
- Süss J, Klaus C, Gerstengarbe FW, Werner PC (2008) What makes ticks tick? Climate change, ticks, and tick-borne diseases. *J Travel Med* 15(1):39–45. doi:10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x
- Tomasello D, Schlagenhauf P (2013) Chikungunya and dengue autochthonous cases in Europe. *Travel Med Infect Dis*:2007–2012. doi:10.1016/j.tmaid.2013.07.006
- Ulrich R, Hjelle B, Pitra C, Krüger DH (2002) Emerging viruses: The case „Hantavirus“. *Intervirology* 45(4–6):318–327. doi:10.1159/000067924
- Umweltbundesamt (2008) Ratgeber: Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze, Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz. Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-klimawandel-gesundheit>. Zugriffen: 13. Dez. 2013
- UN-HABITAT, EcoPlan International Inc (2011) Planning for climate change – a strategic, value-based approach for urban planners. [www.unhabitat.org/downloads/docs/pfcc-14-03-11.pdf](http://www.unhabitat.org/downloads/docs/pfcc-14-03-11.pdf). Zugriffen: 3. Jan. 2014
- Vandentorren S, Empereur-Bissonnet P (2005) Health impact of the 2003 heat wave in France. In: Kirch W, Menne B, Bertollini R (Hrsg) *Extreme weather events and public health responses*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 81–87
- WHO - Weltgesundheitsorganisation (2009) Improving public health responses to extreme weather/heat waves – EuroHEAT. Technical summary; 60 p. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
- Wiedemann PM, Schütz H, Börner F, Walter G, Claus F, Sucker K (2009) Ansatzpunkte zur Verbesserung der Risikokommunikation im Bereich UV. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Urn:nbn:de:0221-2009011236. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter
- Wilkinson P, Smith KR, Davies M, Adair H, Armstrong BG, Barrett M, Chalabi Z (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy. *Lancet* 374(9705):1917–1929. doi:10.1016/S0140-6736(09)61713-X
- Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D et al (2009) Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet* 374(9705):1930–1943. doi:10.1016/S0140-6736(09)61714-1
- Yang CY, Chen CJ (2007) Air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *J Toxicol Env Heal A* 70:1214–1219
- Ziello C et al (2012) Changes to airborne pollen counts across Europe. *PLoS ONE* 7(4):e34076
- Zink K, Vogel H, Vogel B, Magyar D, Kottmeier C (2012) Modeling the dispersion of *Ambrosia artemisiifolia* L. pollen with the model system COSMO-ART. *Int J Biometeorol* 26:669–680
- Ziska LH, Caulfield FA (2000) Rising atmospheric carbon dioxide and ragweed pollen production: Implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 27:893–898
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG (2003) Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 111:290–295

und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Etwasige Abbildungen oder sonstiges Drittmateriale unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende oder der Quellreferenz nichts anderes ergibt. Sofern solches Drittmateriale nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht, ist eine Vervielfältigung, Bearbeitung oder öffentliche Wiedergabe nur mit vorheriger Zustimmung des betreffenden Rechteinhabers oder auf der Grundlage einschlägiger gesetzlicher Erlaubnisvorschriften zulässig.